



Miguel Braz Cardoso

Licenciado em Ciências de Engenharia Física

Qualificação de Detectores de Fugas de Gases Halogenados

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Física

Orientador: Orlando Teodoro, Professor, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof^a. Doutora Maria Isabel Simões Catarino

Arguente: Prof. Doutor Yuri Fonseca da Silva Nunes

Vogal: Prof. Doutor Orlando M.N.D. Teodoro



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março 2015

Miguel Braz Cardoso

Licenciado em Ciências de Engenharia Física

Qualificação de Detectores de Fugas de Gases Halogenados

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Física

Supervisor: Orlando Teodoro, Professor, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof^ª. Doutora Maria Isabel Simões Catarino

Arguente: Prof. Doutor Yuri Fonseca da Silva Nunes

Vogal: Prof. Doutor Orlando M.N.D. Teodoro

Março de 2015

Copyright@Miguel Braz Cardoso, 2014

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a várias pessoas e entidades que me ajudaram directa e indirectamente na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Orlando Teodoro por todo o apoio dado, pela paciência demonstrada para comigo e pela oportunidade de realizar este trabalho.

Ao Eng.º Diogo Miguel por toda a ajuda disponibilizada ao longo de grande parte do tempo.

À oficina e ao Laboratório de Projecto do Departamento de Física, em nome do Sr. Eduardo, do Sr. Faustino e do Sr. Mesquita, por toda a ajuda disponibilizada.

Aos meus pais, à minha irmã e à minha mulher por todo o apoio dado.

RESUMO

Neste relatório poderemos ver as alterações efectuadas na requalificação do sistema de ensaios de qualificação de detetores de fugas de gases halogenados, realizados no laboratório do METROVAC – Laboratório de Metrologia e Tecnologia de Vácuo, de modo a que os ensaios também possam ser realizados segundo a nova versão da Norma EN 14624:2012 “*Performance of portable leak detectors and of room monitors for halogenated refrigerants*” de Janeiro de 2012.

A nova versão da norma contempla algumas alterações nas especificações dos ensaios a serem realizados aos detetores de fugas de gases halogenados. Uma dessas alterações prende-se com a velocidade de passagem do detector relativamente à fuga de referência, que passou a ser mais elevada. Para isso, foi necessário alterar o sistema de ensaios com recurso a automação e a introdução de um motor passo-a-passo e uma placa com um microcontrolador.

Foram também preparadas diversas fugas de permeação de R-134a e R-404 para que pudessem ser usadas nos ensaios. Estas fugas geram um fluxo constante permitindo testar e calibrar detetores de fugas. A preparação destas fugas foi feita segundo o sistema existente no laboratório e desenvolvido por outros alunos, mas também foi ensaiado um novo sistema que poderá ser mais fiável tendo, no entanto, algumas restrições.

Palavras-chave: Ensaio de detetores de fugas, EN14624, fugas de gases halogenados, fugas de permeação, automação, microcontroladores

ABSTRACT

In this report we can see the changes made in the rehabilitation of the system that preforms qualification tests of halogenated gas leak detectors in the laboratory of METROVAC - Metrology Laboratory and Vacuum Technology, so that the tests can also be conducted in the new version the Standard EN 14624:2012 "Performance of portable leak detectors and of room monitors for halogenated refrigerants" of January 2012.

The new version of the standard includes some changes in the specifications of the tests to be performed to the halogenated gas leaks detectors. One of these changes is the speed that the detector passes relative to the gas leak, which became higher. For this, it was necessary to change the system using automation and the introduction of a step-by-step motor and a board with a microcontroller.

Various permeation leaks of R-134a and R-404 were also prepared so that they could be used in the qualification system. These leaks generate a constant flow allowing leakage testing and calibrating detectors. The preparation of these leaks was done according to the existing system in the laboratory and developed by other students, but it was also tested a new system that may be more reliable but have some restrictions.

Keywords: Leak detector qualification, EN14624, halogenated gas leaks, permeation leaks, automation, microcontrollers

ÍNDICE DE MATÉRIAS

AGRADECIMENTOS.....	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	X
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS	XI
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 A NORMA DE REFERÊNCIA	4
2.1 O QUE É UMA NORMA EUROPEIA (EN)?	4
2.2 NORMA EN 14624.....	4
2.2.1 Ensaio para Detectores Portáteis	6
2.2.2 Ensaio para Detectores Fixos	7
3 CONSTRUÇÃO DE FUGAS DE PERMEACÃO	9
3.1 INTRODUÇÃO	9
3.2 VEDAÇÃO DAS FUGAS DE REFERÊNCIA	9
3.3 ENCHIMENTO DAS FUGAS.....	10
3.4 AVALIAÇÃO DAS FUGAS CONSTRUÍDAS	12
3.5 ALTERNATIVA	14
3.6 PERSPECTIVAS DE MELHORIA.....	16
4 ALTERAÇÃO DA BANCADA DE ENSAIOS	17
4.1 INTRODUÇÃO	17
4.2 SELECÇÃO DO MOTOR	17
4.3 MOTORES PASSO-A-PASSO.....	18
4.3.1 Classificação de Motores	19

4.3.2	Modo de Funcionamento.....	20
4.4	PLACA DE CONTROLO DO MOTOR	22
4.5	COMANDO DO SISTEMA	23
4.6	PLACAS ARDUÍNO	26
4.7	FONTE DE ALIMENTAÇÃO	27
4.8	ALTERAÇÃO DO FUSO TRAPEZOIDAL.....	27
4.9	SISTEMA COMPLETO.....	29
4.10	MODO DE FUNCIONAMENTO	29
4.11	PERSPECTIVAS DE MELHORIA.....	30
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
	APÊNDICE I – FLUXO DO PROGRAMA	33
	APÊNDICE II – PROGRAMA ARDUINO.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Duas possíveis formas de realizar o teste com o detector em movimento	5
Figura 3.1 – Disposição dos materiais da fuga de referência	10
Figura 3.2 – Disposição dos equipamentos para transferência do gás.....	11
Figura 3.3 – Curva da pressão do vapor de R134a.....	11
Figura 3.4 – Esquema do Sistema de Calibração de Fugas	13
Figura 3.5 – Sistema de Calibração de Fugas	13
Figura 3.6 – Disposição Alternativa dos materiais da fuga de referência	15
Figura 4.1 – Motor Unipolar de 4 fases	20
Figura 4.2 – Motor Bipolar de 2 fases.....	20
Figura 4.3 – Esquema de ligações da placa de controlo.....	22
Figura 4.4 – Esquema de Ligações ao Motor	23
Figura 4.5 – Ligações do Arduino ao ecrã TFT	24
Figura 4.6 – Esquema Eléctrico do Comparador.....	25
Figura 4.7 – Esquema Eléctrico Total do Sistema.....	29

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Diferenças entre as duas versões da norma.....	6
Tabela 3.1 – Valores obtidos e calculados com os diferentes métodos.	14
Tabela 3.2 – Taxas das fugas por expansão a pressão constante.	15
Tabela 4.1 – Correspondência entre ângulo do passo e número de impulsos.	19
Tabela 4.2 – Sequência da electrização para um motor de 4 fases Unipolar.	21
Tabela 4.3 – Sequência da electrização para um motor de 4 fases Bipolar.	21
Tabela 4.4 – Principais Características da Placa Arduino Leonardo.	26
Tabela 4.5 – Conversão do Número de Impulsos/segundo.	27
Tabela 4.6 – Conversão do Número de Impulsos/segundo.	28

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

HFCs	Hidrofluorcarbonos
CFCs	Clorofluorcarbonetos
PFCs	Perfluorcarbonos
MVQ	Metil Vinil Silicone
Q	Taxa de fuga
Pe	Coeficiente de permeabilidade
A	Área de permeação
Δp	Gradiente de pressão
F	Força
r	Raio
τ	Torque
ppm	Partes por milhão
rpm	Rotações por minuto
rps	Rotações por segundo

1 INTRODUÇÃO

A temperatura amena da terra deve-se em parte aos gases existentes na atmosfera que retêm o calor proveniente do sol e que é reflectido pelo solo. Ao longo dos anos, a temperatura amena global, em média, tem vindo a aumentar ano após ano. Este aumento tem sido atribuído, em parte, ao aumento da concentração de gases fluorados na atmosfera, o que causa um aumento do efeito de estufa. Como tentativa de redução do aumento da concentração, foi elaborado o Protocolo de Quioto que consiste num acordo internacional com o objectivo de reduzir em 8% até 2012, em relação aos valores de 1990, as emissões de gases que contribuem para o efeito de estufa, este protocolo foi posteriormente prolongado até 2020.

O Potencial de Aquecimento Global ou o Factor de Aquecimento Global (GWP – Global Warming Potencial) é uma medida de como determinada quantidade de gás de efeito de estufa contribui para o aquecimento global. O GWP compara o gás em questão com a mesma quantidade de dióxido de carbono, cujo potencial está definido como sendo 1. Por exemplo, o metano (CH_4) tem comparativamente um factor de 23 ao longo de 100 anos. Isto significa que 1 kg de metano é 23 vezes mais potente do que 1 kg de dióxido de carbono durante o mesmo período de tempo. As substâncias sujeitas a restrições impostas pelo Protocolo de Quioto têm normalmente um factor de GWP elevado.

O GWP depende de três factores diferentes. Em primeiro lugar a capacidade que uma determinada molécula tem de absorver radiação infravermelha; em segundo a eficiência da absorção em faixas específicas do espectro electromagnético; e por fim a permanência da molécula na própria atmosfera.

A fim de contribuir para o cumprimento dos compromissos assumidos pela Comunidade, e pelos seus Estados Membros, no âmbito das Alterações Climáticas do Protocolo de Quioto, foi necessário tomar medidas a nível comunitário, a fim de harmonizar os requisitos relativos à utilização de gases fluorados com efeito de estufa e à comercialização e rotulagem de produtos e equipamentos que contenham gases fluorados com efeito de estufa. Para tal, foi elaborado o Regulamento (CE) N° 842/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Maio de 2006 relativo a determinados gases fluorados com efeito de estufa. Este regulamento trata do confinamento, da utilização, da recuperação e da destruição dos gases fluorados com efeito de estufa, da rotulagem e da deposição em aterros de produtos e de equipamentos que contenham esses gases, da transmissão de informações sobre os mesmos, do controlo das utilizações referidas no artigo 8º, da proibição de colocação no mercado dos produtos e equipamentos referidos no artigo 9º e no anexo II e da

formação e certificação do pessoal e das empresas que participem nas actividades previstas pelo regulamento.

“Gases fluorados com efeito de estufa” são os hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorcarbonetos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF_6) e as preparações que contenham estas substâncias. Entenda-se por “Hidrofluorcarboneto” um composto orgânico constituído por carbono, hidrogénio e flúor cujas moléculas não contêm mais de seis átomos de carbono cada uma e “Perfluorcarboneto” um composto orgânico constituído unicamente por carbono e flúor cujas moléculas não contêm mais de seis átomos de carbono cada uma.

Estas substâncias são as mais potentes no que respeita ao GWP sendo referenciadas como gases de elevado potencial de aquecimento global. Elas podem manter-se na atmosfera durante milhares de anos e são entre 140 e 23 900 vezes mais potentes do que o dióxido de carbono.

A União Europeia estabeleceu que os operadores de equipamentos de refrigeração, de ar condicionado e de bombas de calor, incluindo os seus circuitos, e sistemas de protecção contra incêndios, que contenham mais de 3Kg de gases fluorados com efeito de estufa, devem assegurar que as aplicações sejam controladas periodicamente para detecção de fugas por pessoal acreditado.

O regulamento N° 1516/2007 de 19 de Dezembro de 2007 estabelece, nos termos do Regulamento (CE) n° 842/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho, disposições normalizadas para a detecção de fugas em equipamentos fixos de refrigeração, ar condicionado e bombas de calor que contenham determinados gases fluorados com efeito de estufa, e determina que deverão ter limite de detecção de 5 g/ano devendo ser verificados de 12 em 12 meses.

É neste contexto que o METROVAC disponibiliza o serviço de qualificação de detectores de fugas de acordo com a Norma EN 14624. Não se trata propriamente de uma calibração mas de um ensaio completo ou verificação de conformidade. Em 2012, esta Norma foi rectificada e vários ensaios, para os diferentes tipos de equipamentos, sofreram algumas alterações que serão vistas em pormenor mais à frente.

Uma dessas alterações foi a velocidade de passagem dos detectores portáteis pela fuga de referência devendo os mesmos ter capacidade de a detectar. Esta alteração na velocidade de detecção prende-se com o facto de que os novos detectores de fugas de gases halogenados detectam de acordo com a derivada da curva da quantidade de gás detectado. Assim, se passarmos o detector a uma velocidade muito lenta, a curva de aumento de concentração de gás é quase inexistente, e a sua derivada é quase igual a zero fazendo com que o detector não dê sinal de detecção de fuga de gás.

A velocidade de passagem passou de 0,2 cm/s para 2,0 cm/s. Nesse sentido, foi necessário requalificar o sistema de qualificação de detetores de fugas de gases halogenados. Para isso, alterou-se o sistema de ensaios, passando este a poder fazer não só nas duas versões da Norma (0,2 cm/s e 2,0 cm/s) mas também com velocidades intermédias e superiores (entre 0,2 cm/s e 2,4 cm/s com passos de 0,2 cm/s).

2 A NORMA DE REFERÊNCIA

2.1 O que é uma Norma Europeia (EN)?

“A normalização é o processo voluntário de desenvolvimento de especificações técnicas com base no consenso entre todas as partes interessadas (indústria, incluindo as Pequenas e Médias Empresas (PMEs), consumidores, sindicatos, Organizações Não-Governamentais de Ambiente (ONGA), autoridades públicas, etc). É levada a cabo por organismos de normalização independentes que actuam ao nível nacional, europeu e internacional.”¹

Apesar de ser um processo voluntário, desde os anos 80 a União Europeia tem reforçado a sua implementação para apoiar as suas políticas e legislação.

Elas existem para garantir que os produtos e serviços comercializados na União Europeia sejam comparáveis e compatíveis. Para ser considerada uma EN, esta terá de ser adoptada por um dos organismos europeus de normalização e disponibilizada ao público. Esses organismos são: CEN (Comité Europeu de Normalização), CENELEC (Comité Europeu para a Normalização Electrotécnica) e ETSI (Instituto Europeu de Normas das Telecomunicações).

Uma vez que seja adoptada por um desses organismos cabe a cada país da UE a sua implementação. No caso de Portugal, as normas passam a ter a designação de Norma NP EN.

2.2 Norma EN 14624

A Norma EN 14624:2005 *“Performance of mobile leak detectors and of room controllers of halogenated refrigerants”*, de Abril de 2005, tem como objectivo qualificar os detectores portáteis e fixos usados para detectar os gases frigorigéneos. A 19 de Novembro de 2011 foram aprovadas algumas alterações, com especial ênfase nos ensaios a serem realizados. Esta nova versão da norma entrou em vigor em Janeiro de 2012 e passou a ter a denominação de EN 14624:2012 *“Performance of portable leak detectors and of room monitors for halogenated refrigerants”*,

¹ Descrição retirada do site “<http://ec.europa.eu/>”

Os ensaios podem ser feitos de três maneiras. Com o detector estático em frente à fuga de referência, com o detector em movimento a passar a uma determinada velocidade e distância da fuga de referência (figura 2.1) ou dentro de uma câmara com uma concentração de gás monitorizada.

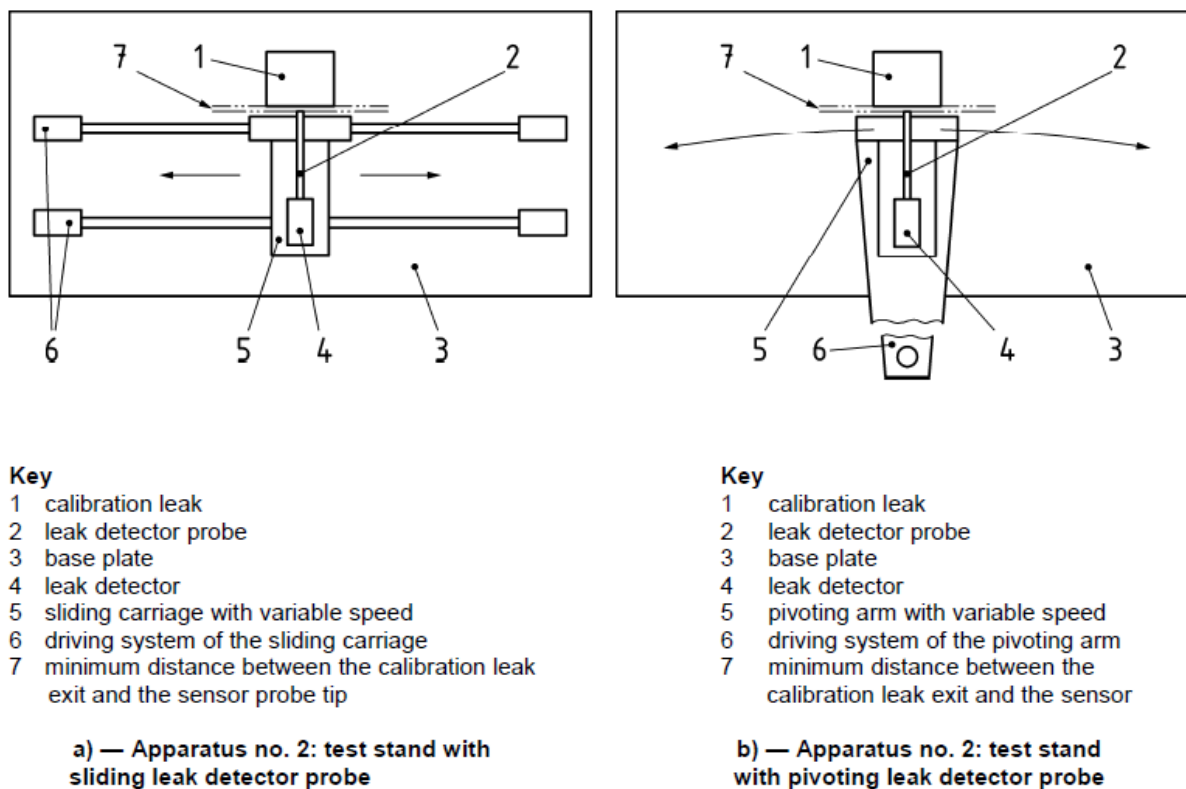


Figura 2.1 – Duas possíveis formas de realizar o teste com o detector em movimento²

Existem vários tipos de ensaios que podem ser feitos. A norma especifica as características dos ensaios a serem efectuados em ambos os detectores, sendo que existe uma escolha de 4 ensaios para os portáteis e 3 ensaios para os fixos.

Na tabela seguinte, podemos ver uma comparação das diferenças entre as duas versões da norma no que se refere aos limites impostos e valores usados nos diversos ensaios. Essas diferenças serão explicadas mais em pormenos a seguir.

² Imagem retirada da Norma EN 14624

Tabela 2.1 – Diferenças entre as duas versões da norma.

Ensaio		2005	2012
Detectores Portáteis	Detecção Estática - Concentrações usadas	1 g/ano, 5g/ano, 10 g/ano, 20 g/ano e 50 g/ano	3 g/ano, 5 g/ano e 10 g/ano
	Detecção Dinâmica - Velocidade - Distância - Deslocamento Lateral	0,2 cm/s \pm 10% 2,0 mm \pm 0,1 mm \pm 20,0 cm	2,0 cm/s \pm 0,2 cm/s 3,0 mm \pm 0,5 mm Deixou de ter
	Detecção em Ambiente Contaminado	Não era imposto um valor máximo da concentração	1000 ppm \pm 10%
	Tempo de Resposta	Não era imposto um valor máximo da concentração	50 g/ano durante 10 s
Detectores Fixos	Limite Superior e Inferior	Este ensaio não era realizado	Concentrações desde 10 ppm a 1000 ppm e intermédias
	Tempo de Resposta	Não houve alterações	
	Tempo de Recuperação	Não era imposto um valor máximo da concentração	Concentração de 1000 ppm

2.2.1 Ensaios para Detectores Portáteis

Para os detectores portáteis, os ensaios a efectuar são a detecção estática, a detecção dinâmica, o limite de detecção numa área contaminada e o tempo de recuperação.

Detecção Estática

Na detecção estática, a sonda do detector é colocada em frente ao orifício da fuga de referência a uma distância de 3,0 mm \pm 0,5 mm durante um máximo de 10s e regista-se se ouve detecção ou não. O ensaio é depois repetido para outras concentrações (10 g/ano, 5 g/ano e 3 g/ano) até se determinar o limite de detecção. Na norma de 2005, as concentrações eram de 1 g/ano, 5g/ano, 10 g/ano, 20g/ano e 50 g/ano. Após cada ensaio, o detector é colocado numa atmosfera limpa e mede-se o tempo de resposta. Serão feitos 10 ensaios para cada concentração.

Detecção Dinâmica

Na detecção dinâmica, a sonda é colocada em frente ao orifício da fuga de referência, conforme a figura 2.1, também a uma distância de 3,0 mm \pm 0,5 mm e movendo-se a uma velocidade de 2,0 cm/s

$\pm 0,2$ cm/s. Na norma de 2005 a velocidade era 10x inferior, ou seja, $0,2$ cm/s $\pm 10\%$, a distância era de $2,0$ mm $\pm 0,1$ mm e era imposto um limite de deslocamento lateral de $\pm 20,0$ cm em torno da fuga de referência. Por cada passagem da sonda pela fuga regista-se se detectou ou não. O ensaio é depois repetido para outras concentrações (10 g/ano, 5g/ano e 3 g/ano) até se determinar o limite de detecção. Serão feitos 10 ensaios para cada concentração.

Limite de Detecção em Ambiente Contaminado

O ensaio de limite de detecção em ambiente contaminado consiste em efectuar o ensaio de detecção dinâmica mas dentro de uma câmara em que o ar dentro desta tem uma concentração de gás de 1000 ppm $\pm 10\%$. Na norma de 2005 não era imposto um valor máximo de concentração, ficando esse valor ao critério do técnico/laboratório.

Tempo de Resposta

O ensaio de tempo de resposta consiste em colocar a sonda em frente a uma fuga de 50 g/ano durante 10s. Após esse tempo, a sonda é colocada em frente à fuga de referência (5 g/ano) e é medido o tempo de resposta do alarme de detecção. Este ensaio é repetido 5 vezes. Também neste ensaio, o valor da concentração não era imposto na norma de 2005, ficando esse valor ao critério do técnico/laboratório.

2.2.2 Ensaios para Detectores Fixos

Para os detectores fixos, os ensaios a efectuar são para determinar qual o limite superior e inferior de detecção, o tempo de resposta e o tempo de recuperação após ter sido exposto a uma concentração muito elevada.

Para efectuar estes ensaios os sensores deverão ser colocados dentro de uma câmara com uma concentração de gás monitorizada. Na eventualidade da câmara não estar disponível ou não ser possível retirar os sensores do local, poderá ser usado o kit de calibração, para aplicar um fluxo com a concentração de gás pretendida directamente em cada sensor a calibrar. A utilização deste kit é uma novidade na norma de 2012 pois não havia essa possibilidade na norma de 2005.

Estes 3 ensaios são efectuados 10 vezes e é feita uma média.

Limite Superior e Inferior

Para determinar o limite superior e inferior registam-se os valores aplicando diretamente no sensor várias concentrações desde 10 ppm a 1000 ppm e intermédias. A concentração poderá ser superior a 1000 ppm caso exista indicação do fabricante. Este ensaio não era efectuado pela norma de 2005.

Tempo de Resposta

Para determinar o tempo de resposta aplica-se uma concentração especificada pelo fabricante e regista-se o tempo que demorou a emitir um alarme. No caso dos controladores com display, regista-se o valor mostrado (ex: 50% ou 90% da escala).

Tempo de Recuperação

Para determinar o tempo de recuperação, após ter sido exposto a uma concentração muito elevada, é aplicada uma concentração especificada pelo fabricante. Caso não seja especificada aplica-se uma concentração de 1000 ppm. Na norma de 2005 não era imposto um valor máximo de concentração, ficando esse valor ao critério do técnico/laboratório. Depois deixa-se de aplicar o gás e regista-se o tempo que o sensor leva a voltar ao normal.

3 CONSTRUÇÃO DE FUGAS DE PERMEAÇÃO

3.1 Introdução

A construção das fugas de referência foi realizada através do método já seguido no laboratório, isto é, o do princípio de difusão de um gás através de uma membrana. Neste método, o gás permeia através da membrana da zona de alta concentração, dentro do frasco, para a zona de baixa concentração, exterior. O objectivo seria construir fugas de referência sem outro tipo de fugas.

Neste capítulo, descreve-se como são construídas as fugas apresentando exemplos de resultados de diversas fugas construídas. Apresenta-se também uma alternativa à vedação existente.

3.2 Vedação das Fugas de Referência

O método existente consiste na utilização de um frasco de vidro temperado, uma tampa de plástico furada, uma membrana de permeação de silicone MVQ, uma anilha de neopreno e uma anilha de metal. Usando o mesmo tipo de membrana de permeação para todas as fugas, a taxa da fuga vai depender do tamanho dos furos da tampa e da anilha de metal e é descrita pela equação:

$$Q = \frac{Pe \times A \times \Delta p}{d} \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde Q é a taxa de fuga em mol/s, Pe é o coeficiente de permeabilidade da membrana de permeação em mol/(Pa.m.s), A é a área de permeação em m² que depende dos tamanhos dos furos, Δp é o gradiente de pressão entre a pressão interna da fuga e a exterior (pressão atmosférica) em Pa e d é a espessura da membrana de permeação em m.

A disposição dos diversos materiais pode ser vista na figura 3.1.

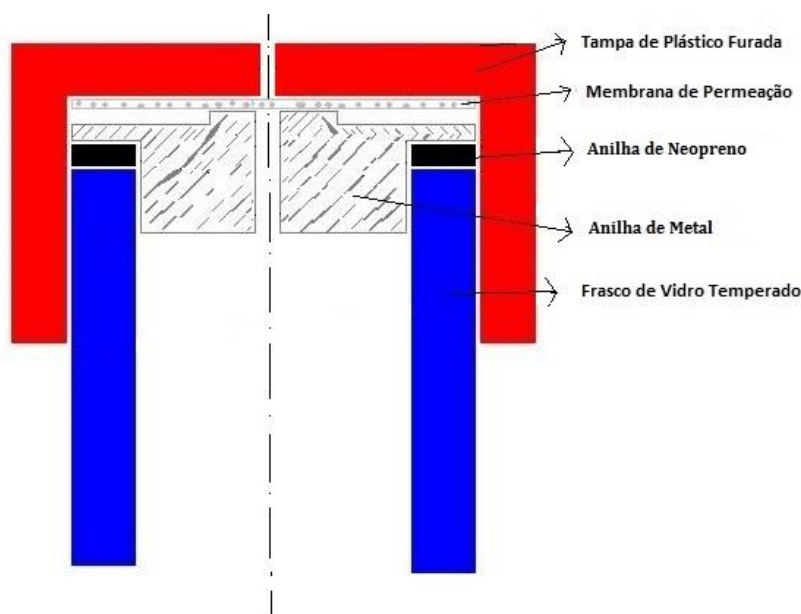


Figura 3.2 – Disposição dos materiais da fuga de referência

3.3 Enchimento das Fugas

Para efectuar a transferência do gás para o frasco foi usado um método desenvolvido no laboratório. Conforme se pode ver na figura 3.2, este método consiste em fazer passar o fluido por uma peça composta por um tubo de cobre e uma base até ao frasco de vidro. Esta peça permite realizar a liquefação do gás, quando arrefecida com azoto líquido. Coloca-se azoto líquido dentro de um recipiente, feito de poliestireno expandido, onde se mergulham as bases da peça do tubo de cobre e do frasco. Quando a temperatura do sistema estabilizar, abre-se a válvula de gás da garrafa, e este vai passar pelo tubo de cobre para dentro do frasco. O fluxo gasoso, ao passar pelo tubo, irá passar ao estado líquido. Assim que tivermos a quantidade pretendida de fluido, cerca de $1/3$ a $1/2$, procede-se à selagem das fugas conforme descrição vista anteriormente.

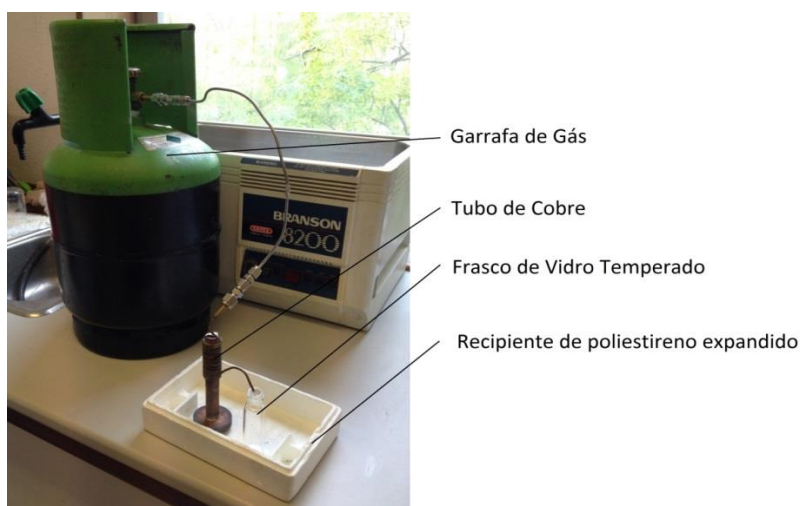
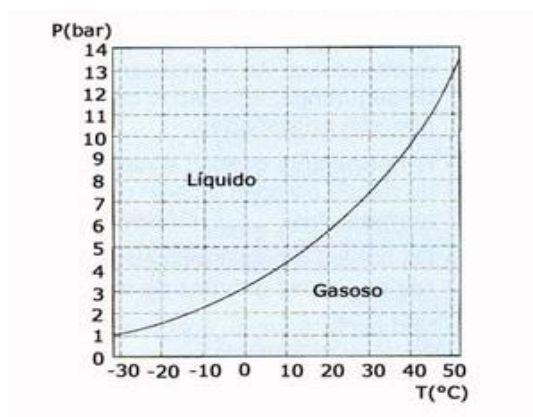


Figura 3.3 – Disposição dos equipamentos para transferência do gás

Antes de se proceder a algum tipo de ensaio sobre as fugas, é necessário esperar que a temperatura das fugas estabilize e retomem à temperatura ambiente. É conveniente colocá-las dentro de um recipiente fechado, ou num local protegido, pois o vidro pode estalar. Isto pode acontecer porque poderá existir algum defeito no vidro que não seja visível e, como a pressão do fluido dentro do frasco é elevada, este vai ceder e partir. Na figura 3.3, podemos ver a curva da pressão de vapor do gás R134a em função da temperatura. Como se pode ver, à temperatura ambiente (entre 21°C e 23°C) a pressão do fluido dentro do frasco é de 6 bar.

Figura 3.4 – Curva da pressão do vapor de R134a³

³ Imagem retirada do site www.oficinaecia.com.br/

3.4 Avaliação das fugas construídas

O primeiro ensaio a realizar é o do método da bolha para verificar se existe alguma fuga lateral, isto é, verificar a estanquidade lateral da fuga. Este método consiste em mergulhar o frasco dentro de um recipiente com água e verificar se existe a formação de bolhas de gás entre o frasco e a tampa na zona lateral. Caso exista uma formação pronunciada de bolhas de gás será necessário reapertar a tampa e voltar a fazer o ensaio. Se mesmo assim continuar a existir a formação de bolhas de gás, será necessário verificar os elementos de vedação.

Deixam-se passar 5 a 6 dias para que a premeação estabilize, e para que não exista qualquer vestígio de água do ensaio anterior, e começa-se a fazer as medições das taxas de fuga. As medições são feitas de duas maneiras, por pesagem e por expansão a pressão constante.

A pesagem é feita numa balança de precisão da marca RADWAG, existente no laboratório e que está calibrada (certificado emitido pela empresa CATIM, processo nº 20124000713110, data 2012/06/15). Através da pesagem, calculamos a massa perdida entre pesagens e podemos calcular uma estimativa para a taxa de fluxo anual (Q) da fuga através da equação (3.2) obtendo a taxa de perda de massa por unidade de tempo:

$$Q = \frac{\Delta m}{\Delta t} \times 365 \quad \text{Equação 3.2}$$

Em paralelo, são efectuadas medições através do método de calibração em circuito fechado com pressão constante e volume variável. Num circuito totalmente estanque, define-se uma pressão inicial, que é a nossa pressão de calibração. Uma vez que o sistema é estanque, e devido ao gás debitado pela fuga, vai existir um aumento de pressão. Para que a pressão se mantenha constante, o volume do sistema tem de ser aumentado. Este aumento é feito através do deslocamento do êmbolo da seringa. Esta variação de volume é que nos vai permitir saber qual a taxa de libertação de gás da fuga.

Conforme se pode verificar na figura 3.4, o sistema é constituído por uma seringa estanque que é actuada por um motor passo-a-passo que por sua vez é controlado pelo computador que, ao detectar um aumento de pressão no sistema faz expandir a seringa para repor a pressão e mantê-la constante. Existe também um banho térmico com uma bomba para fazer circular a água dentro das paredes da caixa, para que a temperatura dentro desta seja a mais homogénia possível.

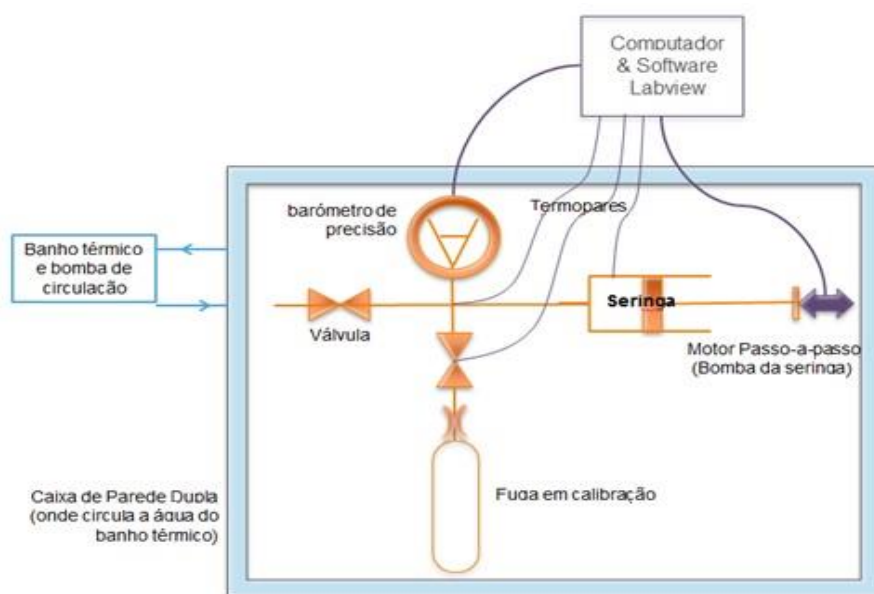


Figura 3.5 – Esquema do Sistema de Calibração de Fugas⁴

O método calcula a variação de volume, por unidade de tempo, sendo que a aplicação de controlo Labview dá-nos os valores em taxa de fluxo de massa por unidade de tempo. No sistema existem dois locais onde se podem colocar as fugas em calibração. Um local para medir apenas a taxa da fuga do furo da tampa e outro para medir a taxa de fuga total, conforme se pode ver na figura 3.5.

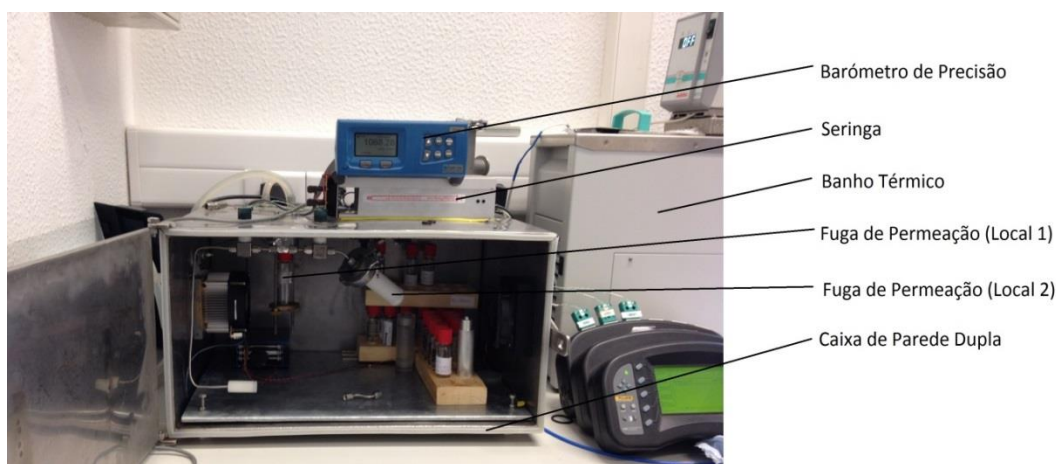


Figura 3.6 – Sistema de Calibração de Fugas

⁴ Imagem retirada de uma apresentação do prof. Orlando Teodoro

Na tabela 3.1, podemos ver alguns dos valores obtidos e calculados com os diferentes métodos para as diversas fugas construídas:

Tabela 3.1 – Valores obtidos e calculados com os diferentes métodos.

Ref. da Fuga	Dia/Hora	Massa (g)	Perda de Massa Q(g/ano)	p ΔV (g/ano)	
				Qfuro	Qtotal
2013120402	05-12-2013 09:42	44,8856	-	3,124	4,119
	06-12-2013 09:41	44,8751	3,8352		
	11-12-2013 09:35	44,8236	3,7626		
	12-12-2013 09:40	44,8124	4,0739		
2013120404	05-12-2013 09:42	53,6329	-	2,789	3,719
	06-12-2013 09:42	53,6232	3,5405		
	11-12-2013 09:35	53,5727	3,6901		
	12-12-2013 09:41	53,5619	3,9256		
2013120406	05-12-2013 09:43	45,9882	-	4,507	5,759
	06-12-2013 09:42	45,9735	5,3692		
	11-12-2013 09:36	45,8933	5,8595		
	12-12-2013 09:42	45,8767	6,0339		
2013120407	05-12-2013 09:43	46,5404	-	3,599	4,700
	06-12-2013 09:43	46,5284	4,3800		
	11-12-2013 09:36	46,4636	4,7350		
	12-12-2013 09:42	46,4500	4,9434		
2013120408	05-12-2013 09:44	46,7022	-	3,770	5,016
	06-12-2013 09:43	46,6893	4,7118		
	11-12-2013 09:37	46,6184	5,1800		
	12-12-2013 09:43	46,6039	5,2705		

Como se pode ver pelos resultados da tabela anterior, e como seria de esperar, os valores das taxas de fuga total obtida por expansão a pressão constante estão dentro do intervalo obtido nas medições efectuadas por pesagem, com excepção da primeira fuga (ref. 2013120402) que se encontra fora do intervalo. Também se verifica que, devido à diferença entre os valores obtidos no furo da tampa e o total, deverá existir uma fuga lateral para além da fuga do furo no topo da tampa.

3.5 Alternativa

Este problema, para fugas com uma taxa elevada, pode influenciar a detecção por parte dos detectores, pois existe outra fuga para além da que queremos detectar. Para além disso, será um desperdício de gás e consequente redução do tempo de vida da fuga.

Para tentar solucionar esse problema alterou-se um pouco a configuração dos elementos de vedação. Decidiu-se colocar mais uma anilha de neopreno entre a anilha de metal e a tampa e reduziu-se o diâmetro da membrana conforme podemos verificar na figura abaixo:

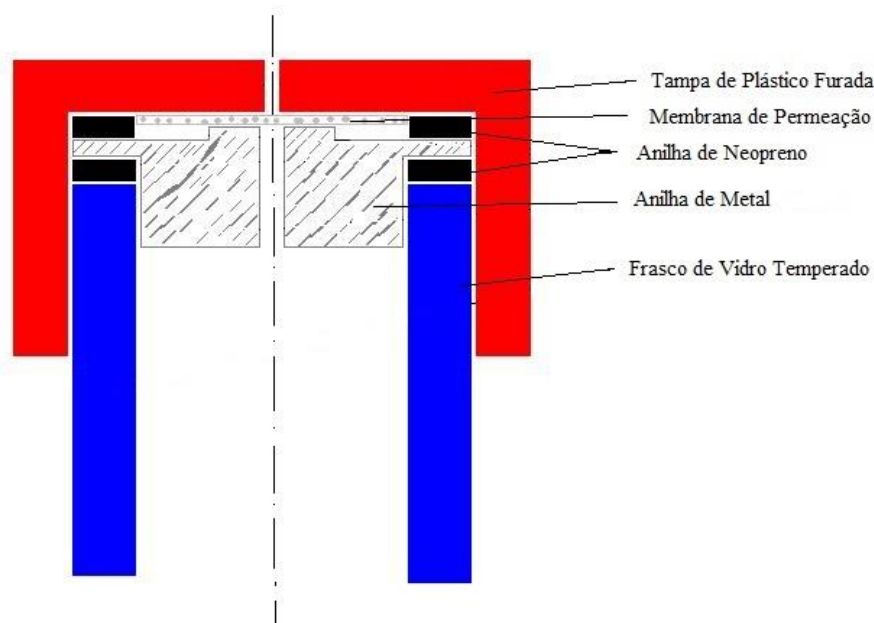


Figura 3.7 – Disposição Alternativa dos materiais da fuga de referência

Com esta alteração, os valores da fuga da tampa e da fuga total passaram a ser quase iguais com uma diferença desprezável, inferior a 3%, conforme se pode ver na tabela 3.2. Contudo, devido ao reduzido diâmetro da membrana, não é possível obter fugas de referência com taxas superiores a 5g/ano, pois para obter valores superiores é necessário aumentar o diâmetro do buraco da tampa, o que leva a que a membrana se escape por esse buraco e deixe escapar o gás todo de uma vez.

Tabela 3.2 – Taxas das fugas por expansão a pressão constante.

Referência	$p\Delta V$ (g/ano)		
	Q_{furo}	Q_{total}	Diferença
2013112801	4,576	4,712	2,97%
2013112802	5,437	5,510	1,34%

3.6 Perspectivas de melhoria

Apesar de termos obtido fugas de referência sem fugas laterais, o valor máximo da taxa de fuga é baixo. Poderá ser possível obter valores superiores caso se utilizem frascos mais largos. Desta forma, será possível utilizar uma membrana com um diâmetro maior, reduzido o risco da membrana escapar pelo buraco da tampa.

4 ALTERAÇÃO DA BANCADA DE ENSAIOS

4.1 Introdução

O objectivo inicial era requalificar o sistema de ensaios de qualificação de detetores de fugas de gases halogenados realizados no laboratório do METROVAC, de modo a que este passasse a ter a capacidade de fazer ensaios nas velocidades 0,2 cm/s e 2,0 cm/s, correspondentes às versões da norma de 2005 e 2012 respectivamente. Como se vai ver mais adiante, acabámos por requalificar a bancada com a capacidade de fazer ensaios em várias velocidades (entre 0,2 cm/s e 2,4 cm/s com passos de 0,2 cm/s). Para isso, foi necessário alterar todo o sistema electrónico e de controlo pois o motor existente só era capaz de fazer a bancada andar a uma velocidade. Esta alteração teve sempre como base a não alteração da parte mecânica (plataforma) do sistema.

Devido ao passo do eixo rotativo da bancada (0,2 cm), para atingir a velocidade de 0,2 cm/s, a rotação do mesmo teria de ser 1 rps, ou seja, 1 Hz. Então, para a velocidade de 2,0 cm/s teremos de ter 10 rps ou 10 Hz.

4.2 Selecção do motor

A primeira ideia seria apenas melhorar o sistema existente de modo a alternar entre dois motores. Seria usado o motor assíncrono existente e outro que permitisse a plataforma da bancada atingir a velocidade de 2,0 cm/s. Esta hipótese foi rapidamente descartada, pois esta alteração entre os dois motores seria de forma mecânica, isto é, desacoplar um motor para acoplar o outro. Deste modo não seria um sistema muito fácil de usar e poderia levar, no futuro, a problemas mecânicos devido às constantes alterações no sistema.

Foi então decidido alterar o sistema colocando um motor passo-a-passo, podendo este alternar entre as duas velocidades. Em primeiro lugar foi testado um motor existente da marca JAPAN SERVO CO., LTD MODELO KP6R2-001 em conjunto com a placa controlo da marca Greenwich Instruments modelo GSM 2, que continha um oscilador interno capaz de emitir até 2000 impulsos por segundo, sendo este o limite máximo de impulsos que a placa poderia receber. Em teoria, o motor seria capaz de rodar a 10 Hz, pois, devido ao passo do motor ser de $1,8^\circ$, seriam necessários 200 impulsos para fazer o eixo rodar uma volta. Então, os 2000 impulsos por segundo fariam o eixo rodar 10 voltas por

segundo. Contudo, após vários dias para fazer a montagem eléctrica e mecânica, verificou-se que, devido à força de atrito dinâmica e falta de potência do motor, este não era capaz de atingir a velocidade pretendida.

Assim, foi necessário arranjar um motor que conseguisse aplicar um torque maior a fim de conseguir alcançar as velocidades desejadas. O primeiro passo foi fazer um teste para saber qual a força exercida pelo motor. Utilizou-se um dinamómetro acoplado ao motor existente. Colocou-se o motor a uma rotação de 1Hz, e obtiveram-se os seguintes resultados:

$$F \cong 20N$$

$$r \cong 0,4cm$$

$$\tau = F.r \cong 8Ncm \cong 80mNm$$

Com estes novos dados, foi seleccionado o motor da marca Mclennan modelo 23HSX-206 que, segundo o fabricante, consegue atingir um torque máximo de 75Ncm. Este valor era bastante superior ao do motor passo-a-passo existente (8Ncm).

4.3 Motores Passo-a-Passo

Os Motores passo-a-passo são dispositivos electromecânicos que convertem pulsos eléctricos em movimentos mecânicos. Estes movimentos não são efectuados através de escovas ou comutadores mas sim através de um número fixo de solenóides alinhados, dois a dois, que quando energizados atraem o rotor fazendo-o alinhar-se com o eixo desse solenóide, provocando uma pequena variação no ângulo à qual se chama de “passo”. O rotor de um motor passo-a-passo roda a uma certa velocidade e direcção quando são aplicados pulsos eléctricos numa determinada sequência nos terminais deste.

A velocidade a que o rotor roda, é dada pela frequência dos pulsos recebidos e pelo ângulo do passo. Os ângulos mais comuns podem variar entre 0,72° e 15,0°, sendo o número de impulsos necessários para realizar uma volta descritos na tabela seguinte:

Tabela 4.1 – Correspondência entre ângulo do passo e número de impulsos.

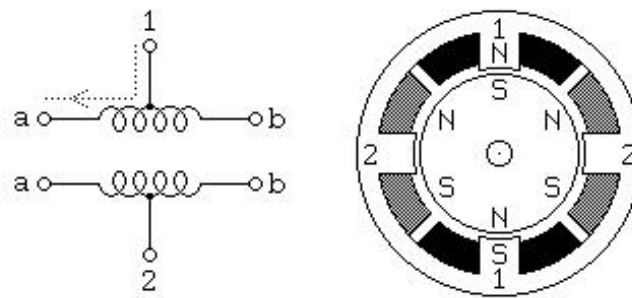
Ângulo do Passo	Número de Impulsos / volta
0,72°	500
1,8°	200
2,0°	180
2,5°	144
5,0°	72
7,5°	48
15,0°	24

Obviamente, quanto menor for o ângulo de passo mais preciso é o motor. Em contrapartida é necessário um número maior de impulsos para realizar uma volta, fazendo com que não seja possível atingir grandes velocidades com os motores de ângulos pequenos.

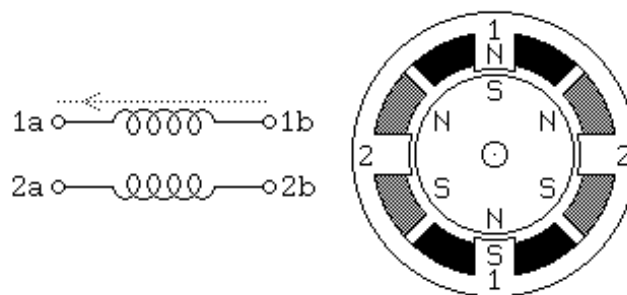
4.3.1 Classificação de Motores

A classificação dos motores é feita quanto à sua forma de operação, podendo ser Unipolares ou Bipolares.

Um motor Unipolar tem dois enrolamentos por fase, um para cada sentido da corrente, isto é, tem uma derivação central em cada uma das bobines.

Figura 4.8 – Motor Unipolar de 4 fases⁵

Já um motor Bipolar tem apenas um enrolamento por fase. Assim, é necessário inverter a corrente no enrolamento para inverter o pólo magnético, fazendo com que o circuito de controlo destes motores seja mais complexo.

Figura 4.9 – Motor Bipolar de 2 fases⁶

4.3.2 Modo de Funcionamento

Os motores podem funcionar em Full-Step ou Half-Step.

No modo Full-Step, apenas é electrizada uma bobine a cada passo, sendo a sequência para um motor de 4 fases a seguinte:

⁵ Imagem retirada da internet

⁶ Imagem retirada da internet

Tabela 4.2 – Sequência da electrização para um motor de 4 fases Unipolar.

Passo	1a	2a	1b	2b
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1
5	1	0	0	0
6	0	1	0	0
7	0	0	1	0
8	0	0	0	1

No modo Half-Step, serão electrizadas alternadamente uma e duas fases, fazendo o rotor andar apenas meio passo de cada vez. Assim, para andar a mesma distância que no modo Full-Step, terão de ser gerados o dobro dos impulsos sendo a sequência para o mesmo motor de 4 fases a seguinte:

Tabela 4.3 – Sequência da electrização para um motor de 4 fases Bipolar.

Passo	1a	2a	1b	2b
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1
9	1	0	0	0
10	1	1	0	0
11	0	1	0	0
12	0	1	1	0
13	0	0	1	0
14	0	0	1	1
15	0	0	0	1
16	1	0	0	1

Em modo Half-Step é possível atingir um torque maior quando estão duas fases electrizadas e uma maior precisão mas perde-se em velocidade máxima.

4.4 Placa de Controlo do Motor

O controlo dos motores passo-a-passo é feito através de placas específicas que recebem os impulsos e os transmitem numa determinada sequência aos terminais do motor. A placa usada foi a que era sugerida pelo fabricante do motor. A placa tem a referência AIT-134 e é da marca Astrosyn. Da folha de instruções que acompanhava a placa retiramos a seguinte imagem que ilustra as ligações que são necessárias fazer bem como as suas características.

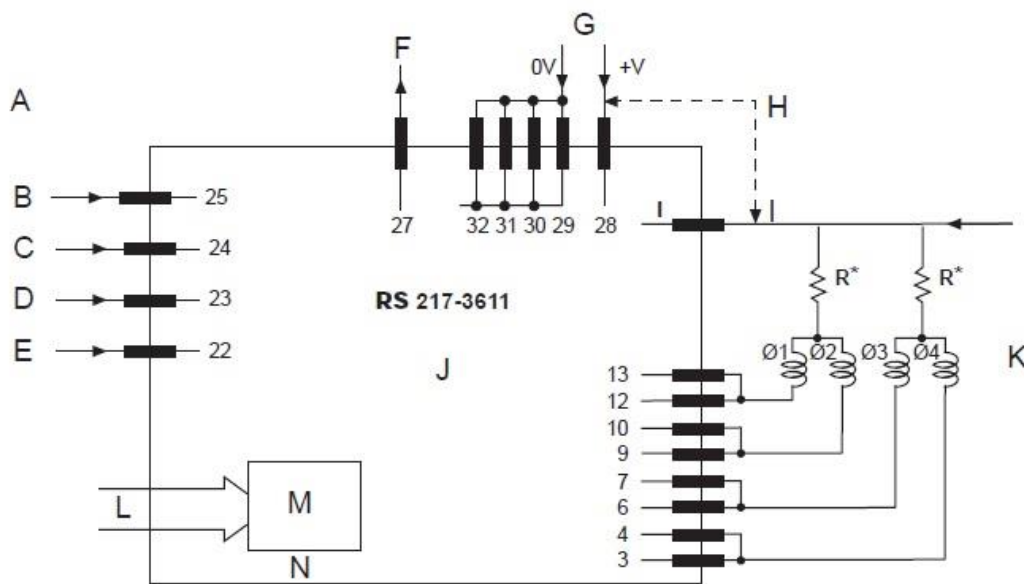


Figura 4.10 – Esquema de ligações da placa de controlo⁷

Legenda:

- A – Ligações externas de comando
- B – Full/Half Step
- C – Entrada de Impulsos
- D – Direcção
- E – Preset
- F – Saída Auxiliar de 12VDC 50mA
- G – Alimentação da Placa (15VDC a 30VDC)
- H – A placa e o motor podem partilhar a mesma alimentação
- K – Ligações ao Motor (até 2A/Fase)

⁷ Imagem retirada da folha de instruções da placa de controlo

As ligações ao motor estão exemplificadas em mais pormenor na seguinte imagem, retirado da folha de instruções do mesmo:

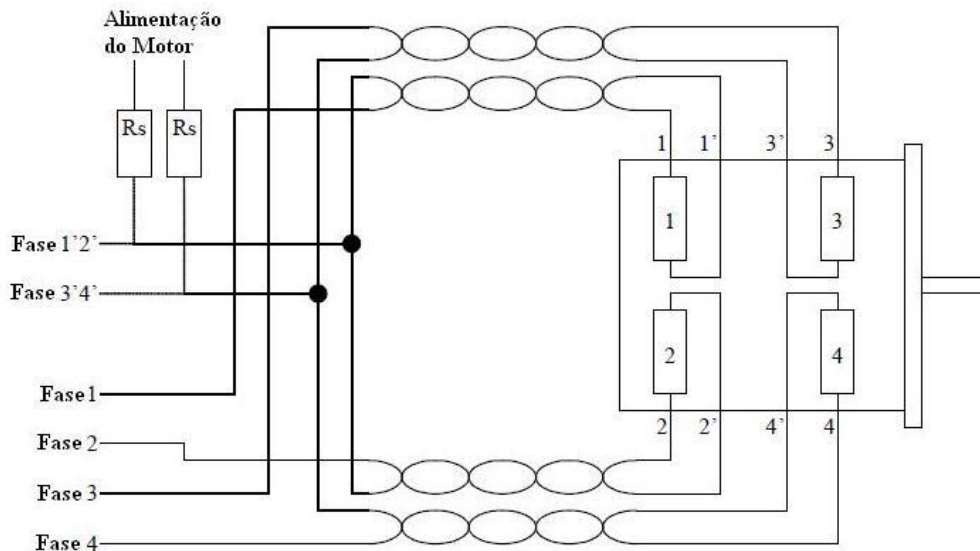


Figura 4.11 – Esquema de Ligações ao Motor⁸

4.5 Comando do Sistema

Para comandar o sistema, a placa oferece a possibilidade da construção, e incorporação na própria placa, de um oscilador e rampa de aceleração. Esse sistema consiste basicamente numa frequência base de arranque baixa e uma rampa de aceleração até à frequência desejada. Este esquema poderia ser usado para fazer as duas velocidades inicialmente pensadas, 1Hz e 10Hz. No entanto, uma vez que já tínhamos a ideia de fazer os ensaios com várias velocidades, optámos por fazer o comando de forma externa através de uma placa programável Arduino. Deste modo, para além de termos mais flexibilidade no comando do motor, também foi possível ligar um Ecrã TFT no qual se pode ler a velocidade (em mm/s) a que a plataforma se está a deslocar. Além disso, também deixa o sistema preparado para efectuar melhorias, conforme será descrito mais à frente. As ligações necessárias para conectar o ecrã TFT estão na figura abaixo:

⁸ Imagem retirada da folha de instruções do motor

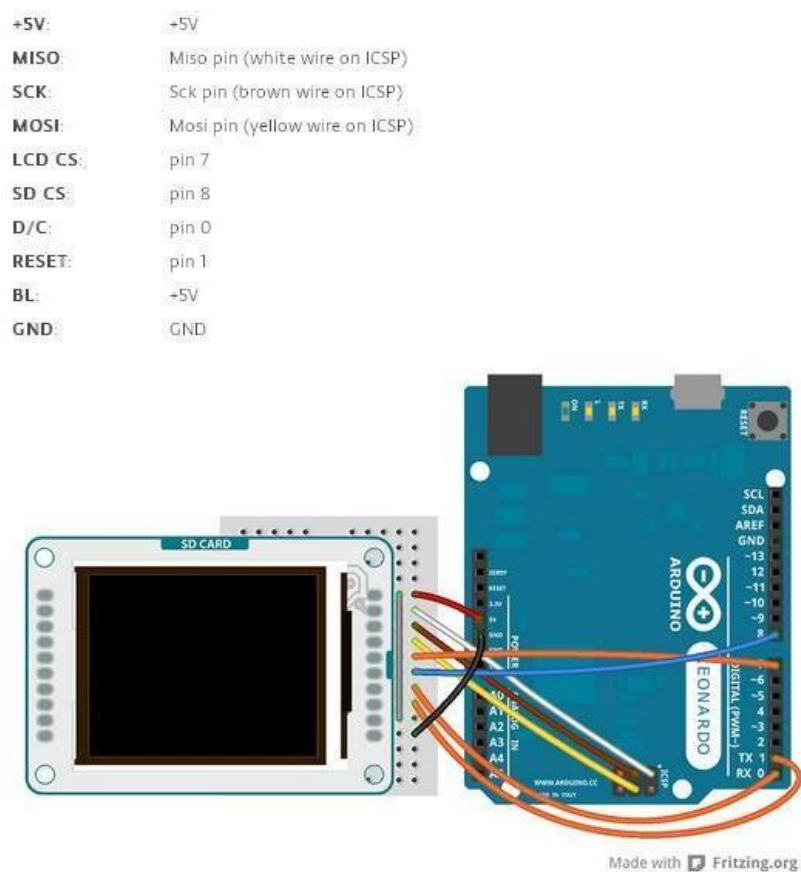


Figura 4.12 – Ligações do Arduino ao ecrã TFT⁹

Uma vez que a saída do Arduino é a 5VDC e a entrada de impulsos na placa de controlo é de 12VDC, a ligação entre ambos não pode ser directa. Assim, foi necessário construir um circuito que convertesse o sinal de 5VDC para 12VDC. O circuito construído consiste num sistema de comparação de tensão invertido com o seguinte esquema eléctrico:

⁹ Imagem retirada do site da Arduino

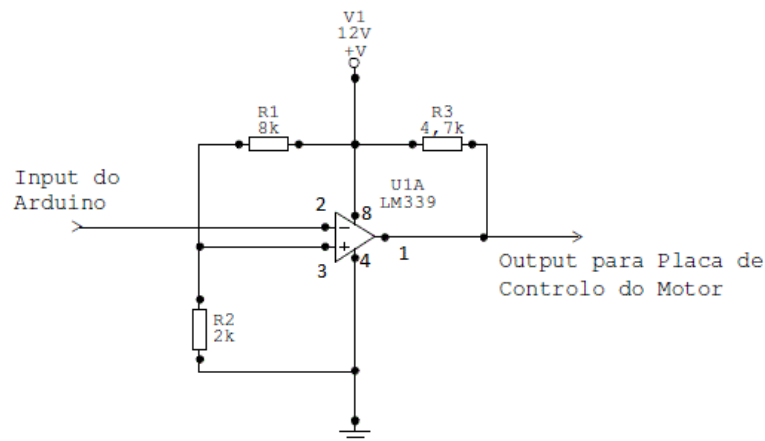


Figura 4.13 – Esquema Eléctrico do Comparador

O sistema vai comparar o valor da tensão de entrada vinda do Arduino (-) com o valor no pino 3 (+). O valor no pino 3, devido às resistências R1 e R2, é de 2,4V, calculado através da equação 4.1. Substituindo os valores das resistências R1 e R2 e da tensão de alimentação V1, obtemos o valor da tensão de comparação.

$$VR2 = \frac{V1}{R1+R2} \times R2 \quad \text{Equação 4.1}$$

$$VR2 = \frac{12}{8 + 2} \times 2 = 2,4V$$

Os valores possíveis à entrada são 5V e 0V. Como é invertido, quando este é maior (5 V) a tensão de saída será 0V e quando é menor (0V) a tensão de saída será 12V.

Foi necessário fazer este circuito em duplicado, pois o Arduino faz duas comunicações com a placa de controlo. Uma das comunicações é o gerador de impulsos e a outra é a inversão de sentido. Para a inversão de sentido, usou-se o mesmo Circuito Integrado LM339, pois este é constituído por dois comparadores, sendo que a diferença está nos números dos pins. Assim, as ligações do segundo comparador são as seguintes: a tensão de entrada vinda do Arduino no pino 6, a tensão de saída no pino 7 e a tensão de comparação no pino 5.

4.6 Placas Arduino

A família de placas de comando Arduino foi criada com o objectivo de permitir o desenvolvimento de controlo de sistemas interactivos, de baixo custo, acessível a todos, flexíveis e fáceis de se usar. Isto porque todo o material envolvido (software, bibliotecas, hardware) é open-source, ou seja, pode ser reproduzido e usado por qualquer pessoa sem ser necessário efectuar pagamentos de direitos de autor.

Estas placas são compostas, entre outras coisas, por um microcontrolador, uma porta de comunicação, entradas digitais e analógicas e saídas digitais embutidas. O microcontrolador na placa pode ser programado com a linguagem de programação Arduino, que é baseada na linguagem Wiring e seu ambiente de desenvolvimento é baseado no Processing, através de um programa freeware, disponibilizado pelo fabricante para o efeito.

Existe também a possibilidade de adicionar bibliotecas para que se possa usar algum tipo de sensor ou outro tipo de equipamento. No nosso caso, foi necessário adicionar a biblioteca TFT.h para podermos comunicar e controlar o ecrã TFT.

Para este projecto, iríamos necessitar de uma placa com 6 entradas e 2 saídas digitais e uma conexão a um ecrã TFT. Com estas características, qualquer placa da família Arduino serviria. Optou-se pela placa Arduino com a referência Leonardo pois, apesar de não ser a mais básica da família Arduino, a diferença de preço (cerca de 5€) compensa em relação ao aumento de capacidade. Esta capacidade extra, poderá ser útil em futuros *upgrades* que possam vir a ser feitos ao sistema. As características da placa escolhida são:

Tabela 4.4 – Principais Características da Placa Arduino Leonardo.

Microcontrolador	ATmega32u4
Tensão de Trabalho	5V
Tensão de Entrada (recomendada)	7-12V
Tensão de Entrada (Limites)	6-20V
Pins Digitais I/O	20
Canais de Input Analógicos	12
Corrente DC por Pin I/O	40 mA
Memória Flash	32 KB
SRAM	2.5 KB
EEPROM	1 KB

O programa elaborado para o controlo encontra-se no apêndice II.

Para que o Arduino envie um determinado número de impulsos por segundo foi necessário fazer uma conversão, pois a programação é feita em termos de tempo de intervalo entre cada impulso. Essa conversão está exposta na seguinte tabela:

Tabela 4.5 – Conversão do Número de Impulsos/segundo.

Velocidade Pretendida (Hz)	Número de impulsos por segundo	Microssegundos entre impulsos (μ s)
1	200	5000
2	400	2500
3	600	1667
4	800	1250
5	1000	1000
6	1200	833
7	1400	714
8	1600	625
9	1800	556
10	2000	500
11	2200	455
12	2400	417

4.7 Fonte de Alimentação

A escolha da fonte de alimentação foi feita tendo em conta a corrente consumida pelos vários elementos do sistema. O motor necessita de uma corrente situada entre os 2,0A e os 2,5A enquanto que o Arduino necessita de um máximo de 0,5A. Assim, foi escolhida a fonte de alimentação da marca TRACO POWER, modelo TXL, com uma potência de 72W, uma tensão de saída de 24VDC e uma capacidade de corrente máxima de 3,0A.

4.8 Alteração do Fuso Trapezoidal

Após a ligação do sistema electrónico ao sistema mecânico existente, verificou-se que o fuso trapezoidal do deslocamento linear estava demasiado empenado, oferecendo demasiada resistência sempre que roçava noutros elementos do sistema. Apesar das várias tentativas de endireitar o fuso

trapezoidal e ajustes do sistema, não era possível fazer com que a plataforma andasse a uma velocidade superior a 1,8 cm/s no sentido esquerda-direita, sendo que no sentido contrário a plataforma conseguia atingir os 2,4 cm/s.

Assim, e de modo a não ter de alterar muito o sistema, decidiu-se apenas colocar um novo fuso trapezoidal e respectiva porca e anel de bloqueio. O fuso adquirido é da mesma marca do anterior, com a referência “Drylin Art.º N.º PTGSG-10X3-01-R-1000”, e tem um passo de 0,3 cm. Com o novo fuso, para atingir a velocidade de 0,2 cm/s, a rotação do mesmo teria de ser 40 rpm, em vez das 60 rpm e para a velocidade de 2,0 cm/s teremos de ter 400 rpm em vez das 600 rpm.

Esta alteração no número de rotação por minuto necessárias para atingir a velocidade requerida implicou uma alteração no programa do Arduino, pois o número de impulsos reduziu para 2/3 do valor anterior, ou seja, o tempo de espera entre cada impulso aumentou. Deste modo, os valores calculados na tabela 4.5 tiveram de ser alterados, estando os mesmos expostos na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Conversão do Número de Impulsos/segundo.

Velocidade Pretendida (cm/s)	Número de impulsos por segundo	Microssegundos entre impulsos (μ s)
0,2	133	7500
0,4	267	3750
0,6	400	2500
0,8	533	1875
1,0	667	1500
1,2	800	1250
1,4	933	1071
1,6	1067	937
1,8	1200	833
2,0	1333	750
2,2	1467	682
2,4	1600	625

4.9 Sistema Completo

Tendo tudo a funcionar correctamente, o esquema final da electrónica de comando do sistema é o seguinte:

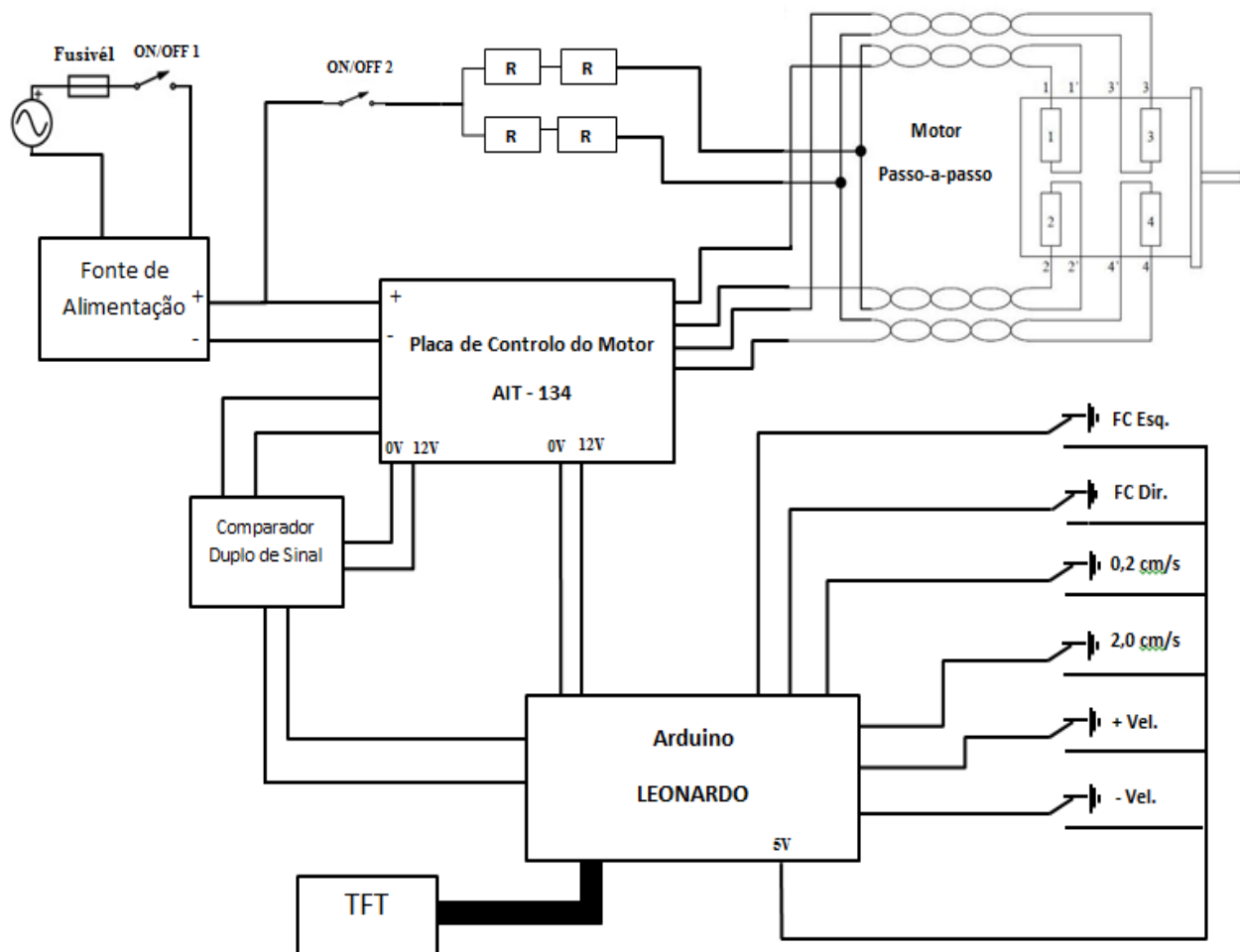


Figura 4.14 – Esquema Elétrico Total do Sistema

4.10 Modo de funcionamento

Ao carregar no botão de ON/OFF 1, o sistema é alimentado através da fonte de alimentação, sendo que, se o ON/OFF 2 estiver em 0 (OFF), só a placa de comando do motor é que vai ser alimentada a 24V. Uma vez que a placa Arduino é alimentada através da placa de comando do motor a 12V esta vai

alimentar o Display TFT a 5V. Para dar início ao teste, coloca-se o interruptor ON/OFF2 na posição 1 (ON), fazendo com que o motor passe a ser alimentado a 24V.

Uma vez que a placa Arduino já estava a ser alimentada e a enviar uma sequência de impulsos para a placa de controlo do motor, o motor vai começar a rodar à velocidade seleccionada. Caso seja accionado algum dos botões ('0,2 cm/s', '2,0 cm/s', '+ Vel.' e '-Vel.'), o Arduino irá aumentar ou diminuir a sequência de impulsos de modo a, e conforme o caso, aumentar ou diminuir a velocidade da plataforma. Em caso de aumento, existe uma rampa de aceleração para que o aumento de velocidade não seja brusco e o motor não bloqueie.

Quando a plataforma atingir um dos topos e accionar o fim-de-curso correspondente ('FC Esq' ou 'FC Dir'), o Arduino irá receber o sinal e irá fazer a inversão de sentido voltando a fazer uma aceleração até a velocidade anteriormente seleccionada, e assim sucessivamente.

Quando se quiser parar a plataforma, basta colocar o interruptor ON/OFF 2 na posição 0 (OFF) para cortar a alimentação ao motor.

4.11 Perspectivas de melhoria

Quando se realizam os ensaios é necessário registar na folha de registo a temperatura e pressão ambiente e a humidade relativa. Estes dados têm de ser obtidos em vários aparelhos espalhados pelo laboratório. Devido à capacidade ainda existente no Arduino, é possível ligar sensores a este e imprimir no TFT. Deste modo, o sistema passa a ter todos os elementos necessários para realizar os ensaios sem ser necessário recorrer a outros aparelhos.

Apesar das velocidades atingidas pelo sistema ser entre 2,0 mm/s e 24,0 mm/s, com passo de 2,0 mm/s, tanto as velocidades mínima e máxima como o passo podem ser alterados conforme seja necessário. Basta para isso alterar o tempo entre impulsos dado pelo Arduino. Estas alterações poderão ser feitas de modo a que se possa qualificar os detectores de fugas conforme a velocidade mínima de detecção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projecto permitiu ampliar, cimentar e aprofundar os meus conhecimentos relativamente à construção de fugas de referência, qualificação de detectores de fugas, electrónica, mecânica e informática.

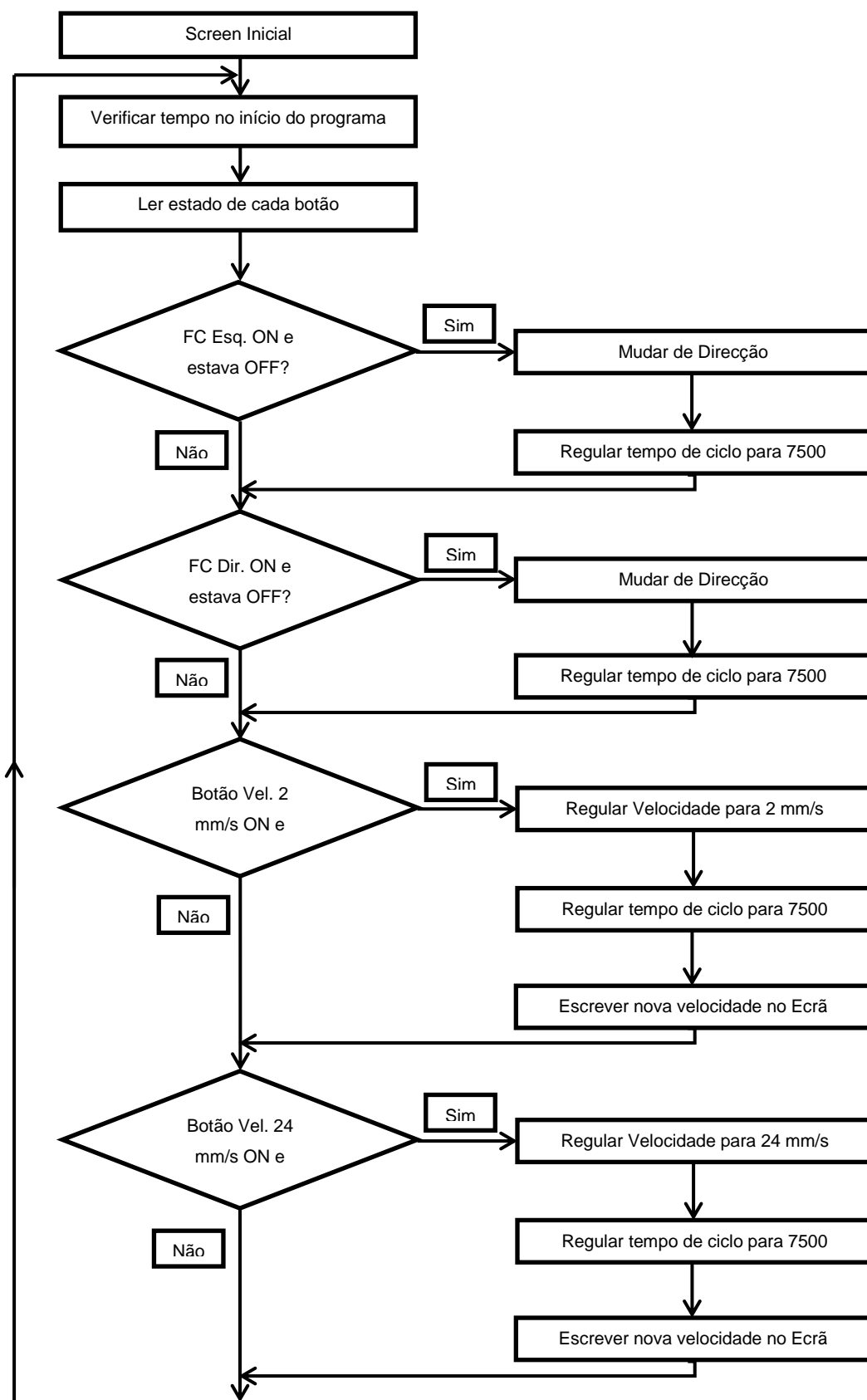
Foram construídas fugas de permeação de R134a e R404 com diversas taxas de fuga utilizando o sistema seguido no laboratório, mas introduzindo algumas alterações de melhoria.

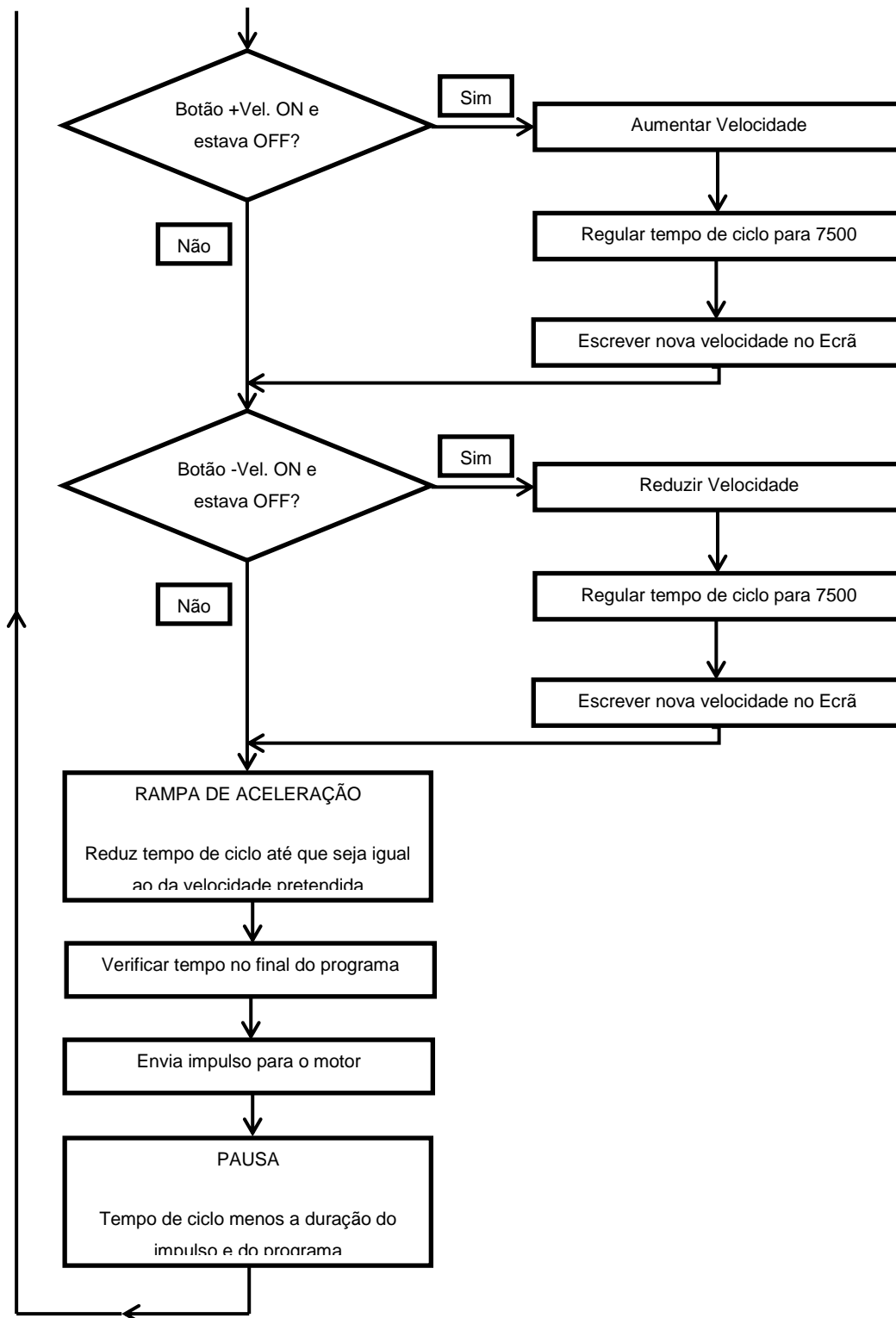
Requalificou-se a bancada de ensaios de gases halogenados para ensaios segundo a nova versão da norma, passando esta a permitir a qualificação dos detectores de acordo com a velocidade mínima de detecção de fugas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Norma Europeia EN14624:2005 – “*Performance of mobile leak detectors and of room controllers of halogenated refrigerants*”, de Abril de 2005.
2. Norma Europeia EN14624:2012 – “*Performance of portable leak detectors and of room monitors for halogenated refrigerants*”, de Janeiro de 2012.
3. Regulamento (CE) N°842/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Maio de 2006, relativo a determinados gases fluorados com efeito de estufa.
4. Regulamento (CE) N° 1516/2007 da Comissão de 19 de Dezembro de 2007.
5. Tese de doutoramento, FCT-UNL – “Caracterização de microfluxos: medição, concepção e calibração” de Ana Luísa de Almeida Pires da Fonseca de Agosto de 2013.
6. Tese de mestrado, FCT-UNL – “Construção e Caracterização de fugas de referência de gases frigorigéneos” de Tiago Afonso de Brito Batista de Junho de 2013.
7. Ana L. Fonseca, A. Marta Barreto, Sofia Matos A.M.C.Moutinho Orlando M.N.D.Teodoro A. Calibration of reference leaks in a wide pressure range. PTDC/EME-MFE/098738/2008., 2013.
8. “Motores de passo (passo a passo)” [Online]. Available: <http://www.electronica-pt.com/motores-passo> [Acedido em 04/06/2014].
9. “Connecting to other Arduino boards” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/TFTtoBoards> [Acedido em 04/10/2014].
10. “4-Phase Unipolar Stepper Motor Drive Board” [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/001c/0900766b8001c0a0.pdf> [Acedido em 20/05/2014].
11. “Motor & Encoder Wiring Instructions” [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0739/0900766b807394bd.pdf> [Acedido em 20/05/2014].
12. “Wiring Instructions” [Online]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/001b/0900766b8001b79a.pdf> [Acedido em 15/03/2014].

APÊNDICE I – Fluxo do programa





APÊNDICE II – Programa Arduino

```
#include <TFT.h> // Arduino LCD library
#include <SPI.h>

// ATRIBUIÇÃO das variáveis de INPUT E OUTPUT PINS
int outPin = 13; //VARIÁVEL DO PIN DE OUTPUT
int Direcao = 12; //OUTPUT PARA MUDANÇA DE DIREÇÃO
int FimdecursoEsq = 8; //INTERRUPTOR DE FIM DE CURSO ESQUERDO
int FimdecursoDir = 5; //INTERRUPTOR DE FIM DE CURSO DIREITO
int BUT2mm = 9; //BOTÃO DE 1 HZ
int BUT24mm = 10; //BOTÃO DE 10 HZ
int BUTmais2mm = 6; //BOTÃO DE + 1 HZ
int BUTmenos2mm = 7; //BOTÃO DE - 1 HZ

// Atribuição de Pins para o LCD
#define cs 2
#define dc 0
#define rst 1
TFT TFTscreen = TFT(cs, dc, rst);

//Variáveis que vão conter os valores de leitura de cada pin de INPUT
int LER_FimdecursoEsq;
int LER_FimdecursoDir;
int LER_BUT2mm;
int LER_BUT24mm;
int LER_BUTmais2mm;
int LER_BUTmenos2mm;

int CICLO = 7500; // VARIÁVEL DE TEMPO DE CICLO
int VariavelHz = 2; // VARIÁVEL DE TEMPO DE CICLO
int VariavelHz_anterior = 2; // VARIÁVEL DE TEMPO DE CICLO
int Variavelcms = 2;
int Variavelcms_anterior = 2;
int VELOCIDADE = 7500; // VARIÁVEL DE TEMPO DE CICLO
int CICLO_anterior = 7500; // VARIÁVEL DE TEMPO DE CICLO ANTERIOR
int TempoPULSE = 2500; // VARIÁVEL tempo de duração de cada impulso

long ControloDirecao = LOW;
long FimdecursoEsq_anterior = LOW;
long FimdecursoDir_anterior = LOW;
long BUT2mm_anterior = LOW;
long BUT24mm_anterior = LOW;
long BUTmais2mm_anterior = LOW;
long BUTmenos2mm_anterior = LOW;

char saida[3];
char saida_anterior[3];
```

```
unsigned long time1;
unsigned long time2;

void setup()
{
  // DEFINIR O TIPO DE CADA PIN USADO, SE É INPUT OU OUTPUT
  pinMode(outPin, OUTPUT);
  pinMode(Direcao, OUTPUT);
  pinMode(FimdecursoEsq, INPUT);
  pinMode(FimdecursoDir, INPUT);
  pinMode(BUT2mm, INPUT);
  pinMode(BUT24mm, INPUT);
  pinMode(BUTmais2mm, INPUT);
  pinMode(BUTmenos2mm, INPUT);

  // LCD
  TFTscreen.begin();
  TFTscreen.background(0, 0, 0); // clear the screen with a black background
  TFTscreen.stroke(255,255,255); // set the font color to white

  // SCREEN INICIAL
  TFTscreen.setTextSize(3);
  for (int i=0; i < 3; i++){
    TFTscreen.background(0, 0, 0); // clear the screen with a black background
    TFTscreen.text("M",1,40); delay (100);
    TFTscreen.text("E",20,40); delay (100);
    TFTscreen.text("T",40,40); delay (100);
    TFTscreen.text("R",60,40); delay (100);
    TFTscreen.text("O",80,40); delay (100);
    TFTscreen.text("V",100,40); delay (100);
    TFTscreen.text("A",120,40); delay (100);
    TFTscreen.text("C",140,40); delay (100);
  }

  delay (500);
  TFTscreen.background(0, 0, 0); // clear the screen with a black background
  TFTscreen.setTextSize(2); // set the font size
  TFTscreen.text("Velocidade:",10,20); // write the text to the top left corner of the screen
  TFTscreen.setTextSize(1); // set the font size
  TFTscreen.text("METROVAC",10,120); // write the text to the top left corner of the screen
  TFTscreen.setTextSize(2); // set the font size very large for the loop
  TFTscreen.text("mm/s",85,81);
  TFTscreen.setTextSize(5); // set the font size very large for the loop
  TFTscreen.text("2",20,60);
}

void loop() // inicio do loop do programa
{
  // TEMPO NO INICIO DO PROGRAMA
  time1 = micros();
```

```
// LEITURA DOS ESTADOS DE CADA BOTÃO
LER_FimdecursoEsq = digitalRead(FimdecursoEsq);
LER_FimdecursoDir = digitalRead(FimdecursoDir);
LER_BUT2mm = digitalRead(BUT2mm);
LER_BUT24mm = digitalRead(BUT24mm);
LER_BUTmais2mm = digitalRead(BUTmais2mm);
LER_BUTmenos2mm = digitalRead(BUTmenos2mm);

// MUDANÇA DE DIREÇÃO

// VERIFICAR FIM DE CURSO ESQUERDO
if (LER_FimdecursoEsq != FimdecursoEsq_anterior){

if (LER_FimdecursoEsq == HIGH)
{ if (FimdecursoEsq_anterior == LOW){
  CICLO = 7500;
  VELOCIDADE = 7500;
  if (ControloDirecao == LOW){
    ControloDirecao = HIGH;
    digitalWrite(Direcao, ControloDirecao);}
  else{
    ControloDirecao = LOW;
    digitalWrite(Direcao, ControloDirecao);}

if (VariavelHz == 2) VELOCIDADE = 7500;
if (VariavelHz == 4) VELOCIDADE = 3750;
if (VariavelHz == 6) VELOCIDADE = 2500;
if (VariavelHz == 8) VELOCIDADE = 1875;
if (VariavelHz == 10) VELOCIDADE = 1500;
if (VariavelHz == 12) VELOCIDADE = 1250;
if (VariavelHz == 14) VELOCIDADE = 1071;
if (VariavelHz == 16) VELOCIDADE = 937;
if (VariavelHz == 18) VELOCIDADE = 833;
if (VariavelHz == 20) VELOCIDADE = 750;
if (VariavelHz == 22) VELOCIDADE = 682;
if (VariavelHz == 24) VELOCIDADE = 625;

if (VELOCIDADE < 2600) CICLO_anterior = VELOCIDADE + 3000;
}}}

// VERIFICAR FIM DE CURSO DIRETO
if (LER_FimdecursoDir != FimdecursoDir_anterior){

if (LER_FimdecursoDir == HIGH)
{ if (FimdecursoDir_anterior == LOW){
  CICLO = 7500;
  VELOCIDADE = 7500;
  if (ControloDirecao == LOW){
    ControloDirecao = HIGH;
    digitalWrite(Direcao, ControloDirecao);}
  else{
    ControloDirecao = LOW;
```



```
digitalWrite(Direcao, ControloDirecao);}

if (VariavelHz == 2) VELOCIDADE = 7500;
if (VariavelHz == 4) VELOCIDADE = 3750;
if (VariavelHz == 6) VELOCIDADE = 2500;
if (VariavelHz == 8) VELOCIDADE = 1875;
if (VariavelHz == 10) VELOCIDADE = 1500;
if (VariavelHz == 12) VELOCIDADE = 1250;
if (VariavelHz == 14) VELOCIDADE = 1071;
if (VariavelHz == 16) VELOCIDADE = 937;
if (VariavelHz == 18) VELOCIDADE = 833;
if (VariavelHz == 20) VELOCIDADE = 750;
if (VariavelHz == 22) VELOCIDADE = 682;
if (VariavelHz == 24) VELOCIDADE = 625;

if (VELOCIDADE < 2600) CICLO_anterior = VELOCIDADE + 3000;
}}

// VERIFICAR BOTÃO DE 2mm

if (LER_BUT2mm == HIGH){
  if (BUT2mm_anterior == LOW){

    VariavelHz_anterior = VariavelHz;
    VariavelHz = 2;
    VELOCIDADE = 7500;
    CICLO = VELOCIDADE;
    TempoPULSE = 2500;

    String(VariavelHz).toCharArray(saida, 3);
    String(VariavelHz_anterior).toCharArray(saida_anterior, 3);

    if (VariavelHz_anterior != VariavelHz){
      TFTscreen.stroke(0,0,0);
      TFTscreen.text(saida_anterior,20,60);
      TFTscreen.stroke(255,255,255);
      TFTscreen.text(saida,20,60);}
    }}

// VERIFICAR BOTÃO DE 24mm

if (LER_BUT24mm == HIGH){
  if (BUT24mm_anterior == LOW){

    VariavelHz_anterior = VariavelHz;
    VariavelHz = 20;
    VELOCIDADE = 750;
    CICLO_anterior = 2500;
    CICLO = 7500;
    TempoPULSE = 100;

    String(VariavelHz).toCharArray(saida, 3);
```

```
String(VariavelHz_anterior).toCharArray(saida_anterior, 3);
```

```
if (VariavelHz_anterior != VariavelHz){  
  TFTscreen.stroke(0,0,0);  
  TFTscreen.text(saida_anterior,20,60);  
  TFTscreen.stroke(255,255,255);  
  TFTscreen.text(saida,20,60);}  
}}
```

//SE CARRREGAR NO BOTÃO DE "MAIS 2mm" ENTÃO TEMPO DE CICLO
DIMINUI

```
if (LER_BUTmais2mm == HIGH)  
{  
  if (BUTmais2mm_anterior == LOW){  
    VariavelHz_anterior = VariavelHz;  
    VariavelHz = VariavelHz + 2;  
    if (VariavelHz > 24) VariavelHz = 24;
```

```
if (VariavelHz == 2) VELOCIDADE = 7500;  
if (VariavelHz == 4) VELOCIDADE = 3750;  
if (VariavelHz == 6) VELOCIDADE = 2500;  
if (VariavelHz == 8) VELOCIDADE = 1875;  
if (VariavelHz == 10) VELOCIDADE = 1500;  
if (VariavelHz == 12) VELOCIDADE = 1250;  
if (VariavelHz == 14) VELOCIDADE = 1071;  
if (VariavelHz == 16) VELOCIDADE = 937;  
if (VariavelHz == 18) VELOCIDADE = 833;  
if (VariavelHz == 20) VELOCIDADE = 750;  
if (VariavelHz == 22) VELOCIDADE = 682;  
if (VariavelHz == 24) VELOCIDADE = 625;
```

```
if (VELOCIDADE < 2600) CICLO_anterior = VELOCIDADE + 3000;
```

```
if (VELOCIDADE > 3000) TempoPULSE = 2500;  
else TempoPULSE = 100;
```

```
String(VariavelHz).toCharArray(saida, 3);  
String(VariavelHz_anterior).toCharArray(saida_anterior, 3);
```

```
if (VariavelHz_anterior != VariavelHz){  
  TFTscreen.stroke(0,0,0);  
  TFTscreen.text(saida_anterior,20,60);  
  TFTscreen.stroke(255,255,255);  
  TFTscreen.text(saida,20,60);}  
}}
```

//SE CARRREGAR NO BOTÃO DE "MENOS 2mm" ENTÃO TEMPO DE CICLO
AUMENTA

```
if (LER_BUTmenos2mm == HIGH)  
{  
  if (BUTmenos2mm_anterior == LOW){
```

```
VariavelHz_anterior = VariavelHz;
VariavelHz = VariavelHz - 2;
if (VariavelHz < 2) VariavelHz = 2;

if (VariavelHz == 2) VELOCIDADE = 7500;
if (VariavelHz == 4) VELOCIDADE = 3750;
if (VariavelHz == 6) VELOCIDADE = 2500;
if (VariavelHz == 8) VELOCIDADE = 1875;
if (VariavelHz == 10) VELOCIDADE = 1500;
if (VariavelHz == 12) VELOCIDADE = 1250;
if (VariavelHz == 14) VELOCIDADE = 1071;
if (VariavelHz == 16) VELOCIDADE = 937;
if (VariavelHz == 18) VELOCIDADE = 833;
if (VariavelHz == 20) VELOCIDADE = 750;
if (VariavelHz == 22) VELOCIDADE = 682;
if (VariavelHz == 24) VELOCIDADE = 625;

if (VELOCIDADE < 2600) CICLO_anterior = VELOCIDADE + 3000;
CICLO = 7500;

if (VELOCIDADE > 3000) TempoPULSE = 2500;
else TempoPULSE = 100;

String(VariavelHz).toCharArray(saida, 3);
String(VariavelHz_anterior).toCharArray(saida_anterior, 3);

if (VariavelHz_anterior != VariavelHz){
  TFTscreen.stroke(0,0,0);
  TFTscreen.text(saida_anterior,20,60);
  TFTscreen.stroke(255,255,255);
  TFTscreen.text(saida,20,60);}
}}

FimdecursoEsq_anterior = LER_FimdecursoEsq;
FimdecursoDir_anterior = LER_FimdecursoDir;
BUT2mm_anterior = LER_BUT2mm;
BUT24mm_anterior = LER_BUT24mm;
BUTmais2mm_anterior = LER_BUTmais2mm;
BUTmenos2mm_anterior = LER_BUTmenos2mm;

// RAMPA DE ACELERAÇÃO
if (VELOCIDADE < CICLO) {
  if (CICLO_anterior > 1500) CICLO = CICLO_anterior - 20;
  else CICLO = CICLO_anterior - 2;}

CICLO_anterior = CICLO;

// TEMPO NO FIM DO PROGRAMA
time2 = micros();

digitalWrite(outPin, HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(TempoPULSE); // DURAÇÃO DO IMPULSO EM CADA CICLO (TEMPO  
    QUE O OUTPUT FICA LIGADO).  
    digitalWrite(outPin, LOW);  
    delayMicroseconds(CICLO - TempoPULSE + time1 - time2); // TEMPO DO CICLO (menos a  
    duração do impulso e do programa)  
}
```